

利用新近系煤的镜质组反射率计算滇西高原的隆升幅度

张绪教, 何科昭

ZHANG Xu-jiao, HE Ke-zhao

中国地质大学(北京), 北京 100083

China University of Geoscience, Beijing 100083, China

摘要:为了定量地计算滇西高原的隆升幅度,在滇西中甸、保山、景东、景谷四地分别取新近纪煤岩样,在野外实测煤层上覆地层残留厚度和测得样品的镜质组反射率并确定有效作用时间后,根据三者关系曲线图计算出成煤时的最大古地温和最大埋深,进而计算出滇西高原上新世时期自北而南的隆升幅度在 1500~1700m 之间。该时期隆升表现出总体均匀抬升的特征。

关键词:滇西高原隆升;隆升幅度;镜质组反射率

中图分类号:P542⁺.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2012)02/03-0235-06

Zhang X J, He K Z. Uplifting range of the western Yunnan Plateau by vitrinite reflectance of coal. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(2/3):235-240

Abstract: For the purpose of calculating the uplifting range of the western Yunnan Plateau, Zhongdian, Baoshan, Jinggu and Jingdong were selected to study the Neogene coal rock. Based on measuring residual depth of strata overlapping on coal strata in field, testing the data of vitrinite reflectance of these samples and determining effective coalification time in laboratory, the authors worked out the maximum paleogeotemperature and the depth of coal rock according to this principle and Bostick's correlation graph of the three elements. The uplifting range of western Yunnan in Pliocene-Pleistocene was in the range of 1500~1700 m from north to south, and the character of overall regular uplifting appeared.

Key words: uplifting of western Yunnan Plateau; uplifting range; vitrinite reflectance

新生代以来,“世界屋脊”青藏高原的强烈隆升,对中国和亚洲乃至整个北半球的自然环境变化产生了极其深刻的影响。因此,青藏高原隆升问题的研究一直为众人所瞩目,已成为地质学领域研究的重大理论和实践课题之一。

在高原隆升问题的研究中,隆升幅度的确定是至关重要的,它不仅直接影响着地貌形态和高程的变化,而且对气候、植被等环境因素起着很大的控制作用。但同时这也是一个非常复杂的问题,至今尚无

较好的解决方法^[1]。目前,隆升幅度的研究方法主要有:古生物-古气候法、古地理法、地质压力计法、热年代学法、变质作用 $p-T-t$ 轨迹法五大类^[2]。前二者为半定量估算方法,后三者为定量计算方法,应用于晚近地质时期高原隆升幅度计算的主要是古生物-古气候法^[3]和热年代学法^[4-6]。

但是,目前常用的这 2 种计算高原隆升幅度的方法仍存在这样或那样的问题或不足^[7-9],即使在研究程度相对较高的青藏高原,“高原的隆起幅度是迄今仍

收稿日期:2011-05-10;修订日期:2011-12-30

资助项目:国家自然科学基金重点项目《滇西地区印支期后的构造演化》(批准号:9487002-2)和中国地质调查局项目《云南马厂坝、道街坝幅 1:5 万区域地质调查》(编号:1212007844004)、《泛亚铁路大理至瑞丽沿线地质构造综合研究》(编号:1212010814054)

作者简介:张绪教(1964-),男,博士,副教授,从事地貌、第四纪地质、新构造运动学教学与科研工作。E-mail:zhangxj@cugb.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

未解决的问题”^[10]。因此,目前的任务是,一方面不断完善已有的计算方法,提高计算结果的精度和准确性;另一方面探索和创新研究方法,从多学科、多角度提供更多的数据和信息,提高研究成果的客观性和可靠性。

笔者在滇西地区进行新构造运动研究时,在该地区(图 1)用煤的镜质组反射率定量计算了滇西高原上新世末(N_2^2)至第四纪初(Q_1^1)的剥蚀幅度,结果为 1500~1700m。这说明该时期滇西高原的隆升总体表现出均匀抬升的特征,与第四纪时期的掀斜有明显的区别。

1 原理与方法

1.1 基本原理

煤是一种不均匀的物质,由许多种物理、化学性质不同的,只有在显微镜下才能区分的显微组分构成。根据成因或保存方式的不同,将所有显微组分归纳为镜质组、壳质组(或类质组)、惰性组 3 个显微组分,其中以镜质组最为常见。

反射性是显微组分的重要光性特征之一,是煤产生和演变史的精确反映。3 种显微组分中,镜质组反射率在煤化过程中的变化比较均匀,随着煤级的增高而逐渐增大。同时它不受煤岩成分、灰分和煤样代表性的影响,受还原程度的影响也较小。另外,镜质组反射率测定的标准离差小、精度高,镜质组反射率作为一种煤级参数,是现行方法中一种比较精确而完善的方法。所以,目前研究煤化作用的主要手段之一是测定煤的镜质组反射率。

决定煤化作用的因素主要有温度、压力和时间,其中温度起着主导作用;时间在 50~60℃ 的温度下与温度共同决定着煤化程度;压力促使煤的物理结构发生变化,但对化学反应起着阻碍作用^[11]。因此,煤化作用强度主要由地壳温度和持续时间决定,而地壳温度与埋深、地温梯度成正比,当地温梯度一定时,煤化作用强度与最大埋深成正比。煤化作用越强,煤级就越高,镜质组反射率也就越大。因而,在无地热异常影响的条件下,镜质组反射率随深度增加而增大。联邦德国 35 个深钻孔中煤的镜质组平均反射率(R_m)的测量结果很好地反映了这一规律^[12]。

因此,通过镜质组反射率可以估算成煤时的古地温,进而计算成煤深度,然后根据煤层现在的出露情况和对上覆岩层残留厚度的测量,可计算自煤层形成后地层的剥蚀厚度。

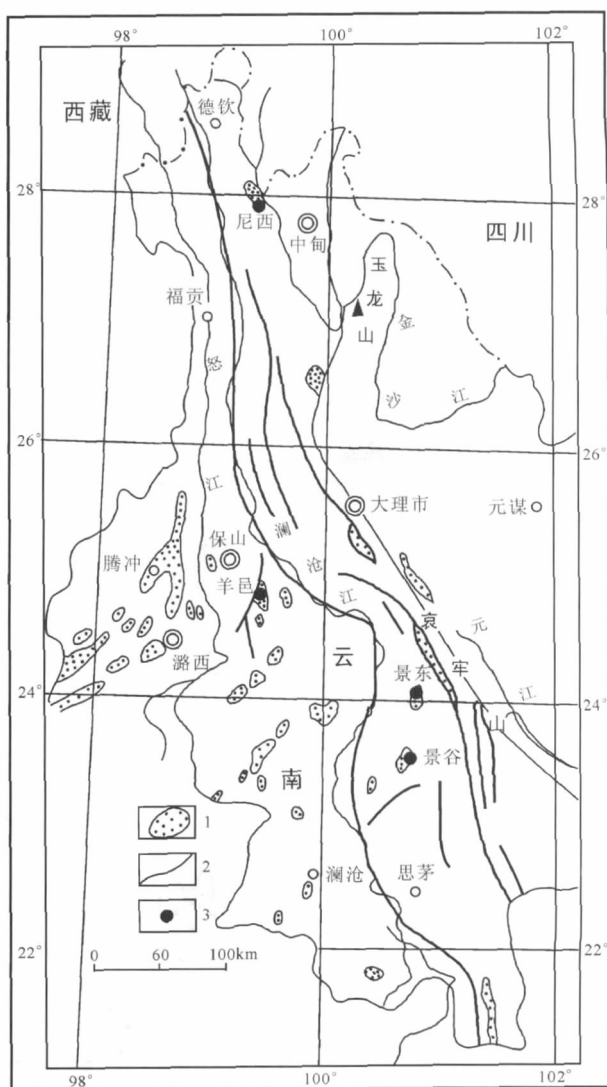


图 1 滇西地区新近系分布图
(据云南省 1:100 万地质图说明书改编)

Fig. 1 Distribution map of Neogene sediments in western Yunnan
1—新近纪盆地;2—断裂;3—取样点

“外力过程的地貌作用可以认为在数量上是和内力过程的地貌作用相当的”^[13]。外力地质作用在地貌形成过程中的作用主要是夷平地形,降低由内力作用所形成的高地,填平内力作用所形成的凹地,外力的夷平作用和内力的抬升作用最终会达到平衡,此时的剥蚀量等于地壳的抬升量。

1.2 计算方法和步骤

(1) 镜质组平均反射率(R_m)的测定

煤的镜质组反射率包括最大反射率(R_{max})、最小

反射率(R_{min})和平均反射率(R_m)。镜质组最大反射率(R_{max})目前已被公认为煤级参数,但由于煤的光性的各向异性特征,要准确测定它是比较繁琐的,而且影响测量精度的因素很多,如光学系统偏斜、机械系统振动等。平均随机反射率(R_m)的测定简便易行,测定方法易于自动化,一些欧洲国家都将其作为煤级参数。在进行高原隆升幅度计算时,笔者也采用测定平均随机反射率(R_m)的方法。

(2)有效作用时间的确定

镜质组反射率的主要控制因素是温度和时间,通过反射率反推古地温时,必须考虑有效作用时间(即最大成煤温度上下 15℃之间所持续的时间),只有有效作用时间对反射率有影响。Bostick 等^[14]通过大量的研究,探讨了时间对煤级的影响,并用图较好地表示了有效受热时间、最高岩石温度与镜质组反射率之间的关系(图 2)。从图 1 可以看出,同一反射率若有效受热时间不同,最大古地温也会不同。要较准确地确定有效作用时间必须分别作出各沉积盆地的沉降曲线,然后进行确定。

(3)最大埋深、剥蚀量和隆升幅度的计算

测得煤的镜质组反射率并确定有效作用时间后,利用图 2 可计算出成煤时的最大古地温(T)。若地表恒温带温度为 T_0 ,地温梯度为 $a(^{\circ}\text{C}/\text{m})$,则最大埋深 d 为:

$$d=(T-T_0)/a \tag{1}$$

野外实测某不整合面之下该煤层之上覆地层的残留厚度(h)后,可计算出含煤地层形成之后至不整合面形成之前的剥蚀量 H (陆相湖盆的水深 $h_{\text{水}}$ 可忽略不计)。如前所述 H 即为隆升幅度值:

$$H=d-h-h_{\text{水}}\approx (T-T_0)/a-h \tag{2}$$

1.3 样品的采集与测试

滇西地区新近纪(N)沉积盆地普遍发育,且多为陆相含煤沉积。据此特点,自北而南分别在滇西的中甸尼西、保山羊邑、景东、景谷的新近系中分别取煤岩样(图 1),并实测上覆残留地层的厚度,室内由专业人员测定样品的镜质组平均反射率(R_m),镜下观察其显微组分。4 个地点的煤级主要为软褐煤—硬褐煤,镜质组反射率为 0.232~0.563(表 1)。在计算隆升幅度时,有断裂活动和后生氧化作用影响的样品 R_m 值剔除不用。

2 计算结果

据野外实地观察和室内镜下微观特征观察,4 个地点除保山干沟煤矿取样点附近有断裂外,其它地点均无岩浆、火山和断裂活动,说明各取样点新近纪以来无强的地热异常存在,因此可假设地表恒温带温度(T_0)与现代一致,取 15℃;地温梯度(a)取 0.03℃/m;有效作用时间根据滇西大幅度隆升的时

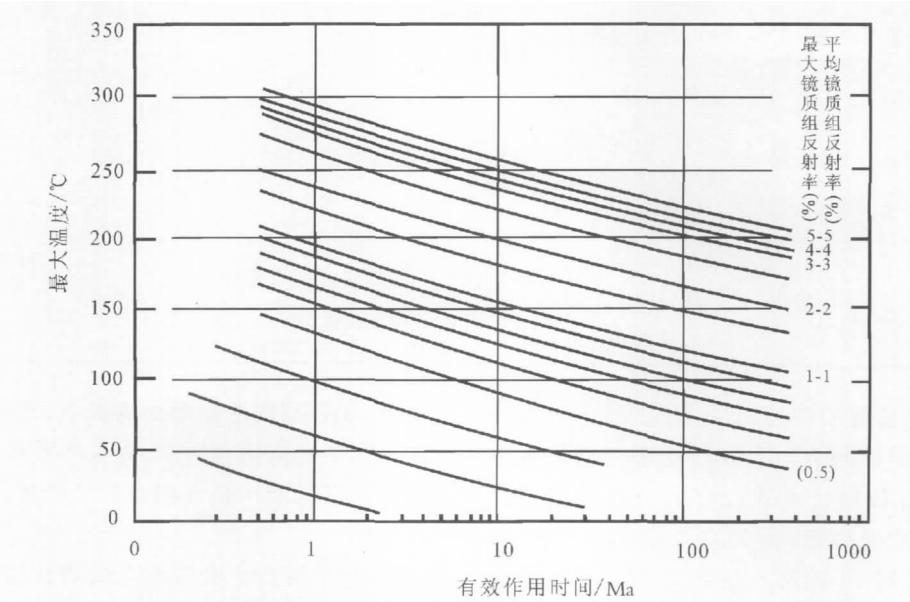


图 2 镜质组反射率与成煤温度、有效作用时间的关系^[14]

Fig. 2 Relationship between vitrinite reflectance (R_m, R_{max}), maximum coalification temperature and effective coalification time

表 1 滇西地区新近纪煤岩样品的特征和镜质组反射率(R_m)
Table 1 Vitrinite reflectance and characteristics of the samples of Neogene coal in western Yunnan

地点	样号	煤级	主要宏观特征	主要微观特征	镜质组反射率(R_m)	地质分析
中甸 尼西	2~7	软褐煤	浅褐色, 土状光泽	以腐木质体、均质凝胶体为主, 薄壁角质常见	0.303	
保山 羊邑	5~10	软褐煤	褐—褐灰色, 土状光泽	植物结构保存差, 充分分解的腐木质体和均质凝胶体为主, 常见多孔凝胶体和树木鞣质体, 含少量半氧化丝质体及黄铁矿	0.261	
保山 羊邑	5~26	软褐煤	褐—褐灰色, 土状光泽	均质凝胶体与细屑体为主。含较多丝质体碎片, 菌类体可成群分布, 多为单腔或双胞腔结构, 粘土矿物含量高	0.232	
保山 干沟	8~1	软褐煤	褐灰色, 土状光泽	腐木质体为主, 薄壁角质体常见, 含丰富草莓状黄铁矿	0.314	
保山 干沟	8~14	软褐煤	褐灰色, 土状光泽	均质凝胶体为主, 且结构均一, 与类脂体组(常为薄壁角质)间成明显过渡关系, 常以暗灰色混合有脂类物质的凝胶体为中介物	0.439	该样品位于断裂附近, 存在古地热异常
保山 干沟	8~20	软褐煤	褐灰色, 土状光泽	碎屑腐植体为主, 褐铁质或菱铁质常构成晕状团块, 且含量高	0.305	受到后生氧化作用的影响
景东 马关桥	10~2	硬褐煤	褐灰色, 土状光泽, 质地较脆	碎屑凝胶体和均质凝胶体为主, 树皮鞣质体常见, 含丰富的霉状黄铁矿	0.412	
景谷 昔喷河	17~6	硬褐煤	褐黑色, 整体土状光泽, 线理状或细层状亮煤具较弱沥青光泽	以均质凝胶体为优势组分	0.563	
景谷 昔喷河	18~5	硬褐煤	褐灰—褐黑色, 土状光泽, 亮煤分层具沥青光泽	植物碎片呈残斑状, 粘土成分为主, 含较多霉状黄铁矿	0.536	

间^[15]和云南景谷盆地的构造沉降曲线^①确定为 0.8~1.0Ma。根据各点所测 R_m 值, 在图 2 中求得最大古地温(T), 将这些数据代入式(2)中, 可算得滇西高原 N_2 — Q_1 时的隆升幅度(表 2)。

从表 2 可以看出, 除第 5 条剖面(保山羊邑清水沟)的 2 个样品结果为 1000m 左右外, 其余 5 条剖面的样品计算结果均在 1500~1700m 之间。通过各剖面的对比发现, 保山羊邑清水沟剖面地层产状近于

水平, 受后期构造运动影响较小, 且泥炭沉积中见较多未腐烂的树枝和树干, 泥炭变质程度较浅, 说明该剖面地层可能比其它剖面时代要新, 因而隆升的幅度稍小。

整个滇西地区自北而南隆升幅度的一致性, 说明 N_2 — Q_1 时期滇西高原具有整体隆升的特点。而现代滇西高原面南北高差达 3000m 左右, 证明滇西高原在整体隆升后的第四纪构造运动特点发生了变

表 2 煤的镜质组反射率(R_m)与隆升幅度
Table 2 Vitrinite reflectance of coal and uplifting range

地点	样号	地层时代	镜质组反 射率(R_m)	古地温 $T/^{\circ}\text{C}$	最大埋 深 d/m	残留厚 度 h/m	隆升幅 度 H/m
中甸尼西	2~7	N_2^2	0.303	62	1570	10	1560
保山羊邑	5~10	N_2^2	0.261	45	1000	10	990
保山羊邑	5~26	N_2^2	0.232	43	900	15	980
保山干沟	8~1	N_2^1	0.314	70	1830	120	1710
保山干沟	8~20	N_2^1	0.305	65	1670	20	1650
景东马关桥	10~2	N_2^1	0.412	105	3000	>688	<2312
景谷昔喷河	17~6	N_1^2	0.563	140	4166	2500	1660
景谷昔喷河	18~5	N_1^2	0.536	135	4000	2500	1500

化,表现为自北而南的掀斜变形。

3 结论与讨论

与其它方法推算结果的比较表明,煤的镜质组反射率法计算的结果与传统方法的推算结果基本一致,具有较好的应用价值。

滇西普遍存在的高原面,是上新世准平原面在上新世末—更新世初由新构造运动加强而形成的^[16],原始准平原面高程与现代高原面高程之差即为上新世末以来的隆升幅度。

滇西地区原始准平原面的高度可通过与邻区对比来确定。青藏高原上新世准平原面的原始海拔高程曾定为 1000~2000m,平均为 1500m。也有人通过中国三趾马动物群化石的分布高度和古岩溶确定西藏上新世末“原始高原面”的海拔高度在 1000m 左右^[3]。据滇西地区红土风化壳、古岩溶发育等特征与青藏高原相似,再考虑到滇西高原所处的地理位置,何浩生等^[16]曾将原始准平原的海拔高程定为 1000m。

何科昭等^[15]根据对怒江河谷现代红土风化壳形成的环境和海拔高程(700m)的研究,结合云南中新世(N_1)以樟科、壳斗科植物为主,这类植物现生种在西双版纳地区的分布高程为 700~800m 等资料的分析,认为将中新世末—上新世初的滇西准平原面定为 700~800m 较为合理。将该高程与现代高原面高程(2000~2800m)进行比较,由此推算的 N_2 — Q_1 隆升幅度在 1300~2000m 之间。

(N_2)地层中均含有以高山栎(*Quercus semecarpifolia*)为代表的植物群^[17],现代高山栎生活在喜马拉雅山区 2200~3600m 的高度^[3];另外,在洱源的三营与中甸尼西的上新统中,还有菱属孢粉化石,菱属多生长在 2500m 的高度。由以上 2 点推测,上新世末(N_2^2)整个滇西已上升到 2200~2500m 的高度。根据前述已确定的原始准平原的高程(700~800m),滇西高原 N_2 — Q_1 的隆升幅度在 1400~1800m 之间。

以上 2 种方法均为定性—半定量的推算方法,同一方法所得结论变化幅度较大,同时,不同学者采用不同的方法或运用不同的资料得出的结论差异也较大。而用 R_m 法计算隆升幅度属于定量方法,可消除气候校正因素的影响,能较为客观和定量地计算高原隆升的幅度。该方法在高原隆升幅度的计算方面具有一定的优越性。

在运用 R_m 法进行高原隆升幅度的计算时,有 3 方面的问题值得注意。一是尽可能地消除各种引起 R_m 异常的因素。岩浆热液、断裂活动等热事件的影响,会使同一深度下的成煤作用加强,因此在运用该方法时,必须通过详细的野外工作和室内研究最大限度地排除这些因素的影响,尤其是野外取样时应避开岩体、断裂等。另外,煤层出露地表后,长期的风化剥蚀作用也会影响 R_m 值,应尽量取新鲜样品。其二,必须进行大量的沉积学研究,作出成煤盆地的沉降曲线,才能较准确地确定有效作用时间,从而准确确定煤岩样品的最大埋深,因为同一反射率若有效作用时间不一样,推算的古地温会有差异。其三,地温梯度的确定。地温梯度是根据煤化数据和

煤的埋藏史推算出来的,可应用不同深度煤的镜质组反射率计算出地温梯度^[11]。实际应用中,由于缺少钻孔资料,对不同深度的煤岩样品未进行研究,因此采取该地区平均地温梯度近似代替。

利用煤的镜质组反射率(R_m)计算高原隆升幅度的基本原理是正确的,而且实践证明是可行的,所得结论与应用其它地质方法得出的结论基本吻合,说明该方法具有较好的应用前景。

在青藏高原隆升问题的研究中,隆升幅度的研究既是一个热点又是一个难点问题,尚未见用煤的镜质组反射率进行计算的报道。西藏喜马拉雅地区新近纪地层中陆相含煤地层发育,因而煤的镜质组反射率法对青藏高原隆升幅度的计算具有很好的参考价值。

致谢:中国地质大学(北京)煤田教研室汤达祯教授对研究工作提供了很好的思路,并负责所有样品的测试工作,在此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] 吴锡浩,王富葆,安芷生,等. 晚新生代青藏高原隆升的阶段和高度[C]//刘东生,安芷生.黄土第四纪地质全球变化.1992,3:1-13.
- [2] 王国灿. 隆升幅度及隆升速率研究方法综述[J]. 地质科技情报, 1995,14(2):17-22.
- [3] 赵希涛.青藏高原隆起幅度估算方法评估[C]//中国科学院青藏高原综合考察队. 青藏高原隆起时代、幅度和形式问题. 北京:科学出版社,1981:167-175.
- [4] Zeitler P K. Fission-trace Evidence for Quaternary Uplift of the Nanga Parbat Region Pakistan[J]. Nature, 1982, 298:255-257.
- [5] 刘顺生,张峰. 西藏南部地区的裂变径迹年龄和上升速度的研究[J]. 中国科学(D 辑), 1987, 9:1000-1010.
- [6] 丁林,钟大赉,潘裕生,等. 东喜马拉雅山构造结上新世以来快速抬升的裂变径迹证据[J]. 科学通报,1995,40(16):1497-1500.
- [7] 崔之久,李德文,伍永秋,等. 关于夷平面[J]. 科学通报,1998,43(17): 1794-1805.
- [8] 王军. 利用磷灰石裂变径迹计算隆升速率的一些问题[J]. 地质科技情报,1997,16(1):97-102.
- [9] Villa I M. A user's guide to determining uplift rates[C]//David A, Spencer Jean-Pierre Burg, Cinzia spencer-Cervato. The 10th Himalaya Karakoram Tibet Workshop, Abstract Volume. Switzerland ETH-Zurich, 1995.
- [10] 张青松. 高原隆起过程[C]//孙鸿烈. 青藏高原的形成演化. 上海:上海科学技术出版社,1996:100-110.
- [11] 杨起. 煤地质学进展[M]. 北京:科学技术出版社,1987:156-195.
- [12] Stach E, Mackowsky M-TH, Teichmüller M, et al. 斯塔赫煤岩学教程[M]. 杨起, 黄家福, 李宝芳,等译. 北京:煤炭工业出版社, 1990:284.
- [13] Б.Г. 列别杰夫. 现代地貌学基本理论与问题[M]. 北京大学地质地理系地貌教研室,译. 北京:科学出版社,1958:189-207.
- [14] Bostick N H, Cashman S M, McCulloh T H, et al. Gradients of vitrinite reflectance and present temperature in the Los Angeles and Ventura Basins, California[C]//Oltz D F. Low temperature metamorphism of kerogen and clay minerals. Los Angeles, 1979: 65-96.
- [15] 何科昭,赵崇贺,何浩生,等. 滇西陆内裂谷与造山作用[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1996:86.
- [16] 何浩生,何科昭.滇西地区夷平面变形及其反映的第四纪构造运动[J]. 现代地质,1993,7(1):31-39.
- [17] 云南省地矿局. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1990: 236-255.
- ① 滇黔桂石油勘探局物探公司. 云南景谷盆地中部地震勘探详查报告.1993.